6/11
Eigenschappen van technische grondstoffen

Inhoud

6/11.2 Weerstand van verschillende geleiders (weerstand in Ohm/meter)

Doorsnede (mm)	Chroomnikkel 20/80	Chromel	Kwikzilver	IJzer	Resistin Isabellin Konstantaan	Manganine	Nikkeline	Tantaal	Nikkel	Molybdeen	Wolfram
0,05	560,2	509,3	280,1	50,93	254,6	219,0	204,01	66,21	35,65	28,52	28,01
0,08	218,8	198,9	109,4	19,89	99,47	85,55	79,52	25,86	13,93	11,14	10,94
0,10	140,1	127,3	70,03	12,73	63,66	54,75	50,96	16,56	8,913	7,13	7,003
0,12	97,26	88,4	48,63	8,84	44,21	38,02	35,37	11,49	6,189	4,952	4,863
0,15	62,26	56,60	31,13	5,660	28,30	24,34	22,64	7,358	3,962	3,169	3,113
0,18	43,23	39,30	21,62	3,930	19,65	16,90	15,70	5,109	2,751	2,201	2,162
0,20	35,01	31,83	17,51	3,183	15,92	13,69	12,73	4,138	2,282	1,783	1,751
0,25	22,41	20,37	11,20	2,037	10,18	8,759	8,148	2,648	1,426	1,141	1,120
0,30	15,56	14,15	7,781	1,415	7,074	6,083	5,656	1,839	0,9903	0,7922	0,7781
0,35	11,44	10,40	5,720	1,040	5,200	4,472	4,160	1,352	0,728	0,5824	0,5720
0,50	5,602	5,093	2,801	0,5093	2,546	2,190	2,038	0,6621	0,3565	0,2852	0,2801
0,60	3,890	3,537	1,945	0,3537	1,768	1,521	1,415	0,4598	0,2476	0,1981	0,1945
0,75	2,489	2,263	1,245	0,2263	1,132	0,9731	0,905	0,2942	0,1584	0,1267	0,1245
0,90	1,729	1,572	0,8645	0,1572	0,7859	0,6759	0,6288	0,2043	0,1100	0,0880	0,0865
1,00	1,401	1,273	0,7003	0,1273	0,6366	0,5475	0,5092	0,1656	0,0891	0,0713	0,0700
2,00	0,3501	0,3183	0,1751	0,0918	0,1592	0,1369	0,1273	0,0414	0,0228	0,0178	0,0175

11.2 Weerstand verschillende geleiders (in Ohm/meter)

6/11.3
Koperdraad weerstand per m

Diameter blanke draad mm	Weerstand in Ohm/m bij 20 °C		
	Minimum	Maximum	Gemiddeld
0,05	8,04	9,83	8,94
0,06	5,83	6,58	6,21
0,10	2,10	2,37	2,23
0,12	1,458	1,644	1,551
0,15	0,933	1,052	0,993
0,18	0,648	0,731	0,689
0,21	0,481	0,532	0,507
0,25	0,340	0,375	0,357
0,30	0,236	0,261	0,248
0,35	0,1732	0,1915	0,1824
0,40	0,1326	0,1466	0,1396
0,50	0,0858	0,0929	0,0894
0,60	0,0596	0,0645	0,0621
0,70	0,0438	0,0474	0,0456
0,80	0,0335	0,0363	0,0349
0,90	0,0265	0,0287	0,0276
1,00	0,0215	0,0232	0,0223
1,20	–	–	0,01551
1,50	–	–	0,00993
1,80	–	–	0,00689
2,00	–	–	0,00558
3,00	–	–	0,002482

6/15

Internationale coderingen voor halfgeleiders

Inleiding

Drie standaarden

Voor de codering van halfgeleiders en dan met name voor de codering van:

- dioden;
- transistoren;
- bijzondere halfgeleiders als PUT, UJT, etc;
- IC's;

bestaan er wereldwijd diverse gestandaardiseerde systemen:

- JEDEC:
  Amerikaanse codering opgesteld door de "Joint Electronic Device Engineering Council"
- JIS:
  Japanse codering, opgesteld door de "Japanese Industrial Standard"
- Pro-electron
  Europese standaard codering
- Pro-electron vier band kleurencode
  Wordt gebruikt bij kleine dioden
- Pro-electron code voor IC's
  Een Europese poging tot zinvolle naamgeving voor digitale IC's, die echter gesneuveld is onder het geweld van de Amerikaanse nietszeggende 74xxxxxx codering.
- Fabrikanten-specifieke coderingen
  Worden vaak gebruikt als een fabrikant een uniek onderdeel op de markt meent te brengen, dat hierdoor uit commerciële redenen duidelijk van de concurrentie onderscheiden wordt.

De JEDEC-code levert de bekende transistorcodes als 2N2221A op. De JIS-code zadelt de wereld op met transistorbenamingen zoals 2SC733. De Pro-electron code levert met benamingen als BC107C de meeste informatie over het soort halfgeleider dat men in handen heeft.

De JEDEC-code

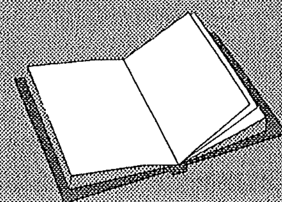
Samenstelling

De JEDEC-code bestaat uit:
cijfer - N - serienummer - [achtervoegsel]

Het eerste cijfer

Dit cijfer geeft informatie over het soort halfgeleider en schijnt ontstaan te zijn door het aantal aansluitingen van de halfgeleider met één te verminderen, dus:

LEES OOK:
Geen referentie



- 1
  diode
- 2
  transistor
- 3
  speciale MOSFET's met vier aansluitingen

Een uitzondering op deze regel vormen:
- 4 en 5:
  worden gebruikt voor optische koppelaars

Het serienummer
Dit nummer gaat van 100 tot 9999 en geeft géén nuttige informatie over de halfgeleider. Dit getal geeft alleen bij benadering enige informatie over de introductiedatum van het type.

Het achtervoegsel
Het achtervoegsel, dat niet verplicht is, bestaat uit één letter die informatie geeft over de stroomversterking h_{fe} van de transistor.
- A
  lage versterking
- B
  middelmatige versterking
- C
  hoge versterking

De JIS-code

Samenstelling
De JIS-code bestaat uit:
cijfer - twee letters - serienummer - [achtervoegsel]

Het eerste cijfer
Ook dit cijfer geeft informatie over het soort halfgeleider en schijnt ontstaan te zijn door het aantal aansluitingen van de halfgeleider met één te verminderen, dus:
- 1
  diode
- 2
  transistor
- 3
  speciale MOSFET's met vier aansluitingen

De twee letters
Deze geven informatie over het toepassingsgebied van de halfgeleider:
- SA
  PNP hoogfrequent transistor
- SB
  PNP audio transistor
- SC
  NPN hoogfrequent transistor
- SD
  NPN audio transistor
- SE
  diode, algemeen
- SF
  thyristor
- SG
  Gunn diode
- SH
  UJT
- SJ
  P-kanaal FET of MOSFET
- SK
  N-kanaal FET of MOSFET
- SM
  triac
- SQ
  LED
- SR
  gelijkrichter
- SS
  signaal diode
- ST
  avalanche diode

- SV
  varicap diode
- SZ
  zener diode

Het serienummer
Gaat van 10 tot 9999 en geeft géén nuttige informatie over de halfgeleider. Dit getal geeft alleen bij benadering enige informatie over de introductiedatum van het type.

Het achtervoegsel
Niet verplicht, wordt gebruikt als de halfgeleider is goedgekeurd door Japanse keuringsorganisaties zoals militaire.

Opmerking
Omdat de code van alle Japanse transistoren met 2S begint, wordt dit soms weggelaten. Een transistor als de 2SC733 wordt dan gemerkt met de code C733.

De Pro-electron code

Samenstelling
De Pro-electron code bestaat uit:
letter - letter - [letter] - serienummer - [achtervoegsel]

De eerste letter
Deze geeft informatie over het materiaal waaruit de halfgeleider vervaardigd is:
- A
  germanium, of in het algemeen een materiaal met een energieband afstand van 0,6 eV tot 1,0 eV
- B
  silicium, of in het algemeen een materiaal met een energieband afstand van 1,0 eV tot 1,3 eV
- C
  gallium arsenide, of in het algemeen een materiaal met een energieband afstand van meer dan 1,3 eV
- R
  materialen voor fotogevoelige en magnetisch gevoelige halfgeleiders, bijvoorbeeld cadmium sulfide

De tweede letter
Deze geeft informatie over het toepassingsgebied van het onderdeel:
- A
  algemene laagvermogen diode voor hoogfrequent toepassingen, mengschakelingen en schakeltoepassingen
- B
  diode met veranderlijke capaciteit, varicap
- C
  klein signaal transistor voor audio toepassingen met thermische weerstand groter dan 15 °K/W
- D
  vermogenstransistor voor audio toepassingen met thermische weerstand kleiner dan 15 °K/W
- E
  tunnel diode, Esaki diode
- F
  klein signaal hoogfrequent transistor met thermische weerstand groter dan 15 °K/W
- G
  diode voor hoogfrequente oscillatietoepassingen
- H
  onderdeel dat reageert op variaties in een magnetisch veld, zoals Hall-elementen
- L
  vermogenstransistor voor hoogfrequent toepassingen met thermische weerstand kleiner dan 15 °K/W

- N
  optische koppelaar
- P
  onderdeel dat gevoelig is voor straling
- Q
  diode die straling uitzendt, zoals een LED
- R
  laagvermogen thyristor of triac met thermische weerstand groter dan 15 °K/W
- T
  hoogvermogen thyristor of triac met thermische weerstand kleiner dan 15 /W
- U
  hoogvermogen transistor voor schakel toepassingen met thermische weerstand kleiner dan 15 °K/W
- X
  diode als vermenigvuldiger gebruikt, bijvoorbeeld een varactor
- Y
  vermogensdiode, zoals gelijkrichter en booster
- Z
  zenerdiode, referentiediode, spanningsbegrenzende diode

De derde letter
De niet verplichte derde letter geeft aan dat de halfgeleider ontwikkeld is voor professionele of militaire toepassingen.
Hiervoor worden de letters S, T, V, W, X, Y of Z gebruikt waarbij geen logische verklaring te vinden is voor de keuze van een bepaalde letter.

Het serienummer
Dit nummer ligt in het bereik van 100 tot 9999 en geeft weer een indicatie over de productiedatum van het onderdeel.

Het achtervoegsel
Het achtervoegsel, dat niet verplicht is, bestaat uit één letter die informatie geeft over de stroomversterking h_{fe} van de transistor of de tolerantie van een zenerdiode:
- A
  - voor bipolaire transistoren
    versterking h_{fe} tussen 100 en 260
  - voor unipolaire transistoren
    drainstroom tussen 2 mA en 7 mA
  - voor zenerdioden
    tolerantie +/-1 %
- B
  - voor bipolaire transistoren
    versterking h_{fe} tussen 240 en 500
  - voor unipolaire transistoren
    drainstroom tussen 6 mA en 15 mA
  - voor zenerdioden
    tolerantie +/-2 %
- C
  - voor bipolaire transistoren
    versterking h_{fe} tussen 450 en 900
  - voor unipolaire transistoren
    drainstroom tussen 12 mA en 25 mA
  - voor zenerdioden
    tolerantie +/-5 %
- D
  - voor zenerdioden
    tolerantie +/-10 %

De Pro-electron kleurencodering

Inleiding
Bij zeer kleine dioden wordt de normale Pro-electron code vervangen door een kleurencode die bestaat uit vier ringen, twee brede en twee smalle.

Eerste brede ring
Deze codeert de eerste twee letters van de normale Pro-electron code:
- bruin
  komt overeen met Pro-electron code AA
- rood
  komt overeen met Pro-electron code BA

Tweede brede ring
Deze codeert de derde letter van de normale Pro-electron code:
- wit
  Z
- grijs
  Y
- zwart
  X
- blauw
  W
- groen
  V
- geel
  T
- oranje
  S

Derde en vierde smalle ringen
Deze codering volgt de van weerstanden bekende numerieke codering, dus:
- zwart
  0
- bruin
  1
- rood
  2
- oranje
  3
- geel
  4
- groen
  5
- blauw
  6
- paars
  7
- grijs
  8
- wit
  9

Voorbeeld
rood-blauw-paars-groen
Diode met als Pro-electron code BAW75.

Pro-electron code voor digitale C's

Inleiding
Deze code wordt hier alleen uit historische en nostalgische overwegingen vermeld, immers men zal deze codering in de praktijk nooit meer aantreffen, behalve misschien op onderdelen in apparatuur uit de jaren zeventig.

Samenstelling
Deze code bestond uit:
letter - letter - letter - serienummer - cijfer

De eerste letter
Deelde IC's in de volgende vier groepen in:
- F tot N
  digitale schakelingen die lid zijn van een familie, bijvoorbeeld diode-diode-logica of weerstand-diode-logica
- S
  solitaire digitale schakelingen die geen deel uitmaken van een familie
- T
  analoge schakelingen
- U
  gemengde analoge/digitale schakelingen

De tweede letter
In geval van digitale familie-schakelingen vormde deze tweede letter samen met de eerste letter de familie-codering, zoals FC, FA, NY.
Voor de overige solitaire IC's vormde deze letter een deel van het volgnummer.
Derde letter
Gaf informatie over de functie van de digitale schakeling:
- H
  combinatorische logische schakeling, waarbij de toestand van de uitgang op ieder moment wordt bepaald door de *combinatie* van de toestanden op de ingangen, dus bijvoorbeeld poorten als AND, OR, NAND, NOR, EXOR en EX-NOR
- J
  sequentiële schakelingen, waarbij de toestand op de uitgang wordt bepaald door de signalen die op dat moment op de ingangen aanwezig zijn *en* door de signalen die voordien aanwezig waren op de uit- en ingangen, zoals flip-flop's en tellers
- K
  schakelingen voor tijdregeling, zoals monostabiele multivibratoren
- L
  schakelingen voor niveau herstelling en inversie, zoals Schmitt-triggers
- Y
  overige schakelingen, die niet onder een van de vorige categorieën vallen

Het serienummer
Een getal van twee cijfers dat in het geval van een "familie" het volgnummer van de schakeling in die familie aangeeft.

Het laatste cijfer
Geeft het temperatuurbereik van de schakeling:
- 1
  0 °C tot +70 °C
- 2
  -55 °C tot +125 °C
- 3
  -10 °C tot +85 °C
- 4
  +15 °C tot +55 °C
- 5
  -25 °C tot +55 °C
- 6
  -40 °C tot +85 °C

Voorbeelden
- FCH182
  digitale schakeling van de FC-familie met combinatorische logica (dus een poort) me als volgnummer 18 en temperatuurbereik van -55 °C tot +125 °C
- TAA263
  analoge schakeling met volgnummer AA26 en temperatuurbereik van -10 °C tot +85 °C

Fabrikanten-specifieke coderingen

Een paar voorbeelden
Tot slot van deze code-bespreking een paar beroemde voorbeelden van halfgeleidercodes, die volledig aan één bepaalde fabrikant verbonden zijn:
- MJ
  Motorola vermogen halfgeleider, metalen behuizing
- MJE
  Motorola vermogen halfgeleider, kunststof behuizing
- MPS
  Motorola laag vermogen halfgeleider, kunststof behuizing

- MRF
  Motorola HF, VHF en microgolf transistor
- RCA
  RCA codering
- TIP
  Texas Instruments vermogen transistor, kunststof behuizing
- TIPL
  Texas Instruments vermogen transistor, planar type
- TIS
  Texas Instruments klein signaal transistor, kunststof behuizing
- ZT(X)
  Ferranti codering

6/16
Nauwkeurige weerstandswaarden met de standaard E-12 reeks

Tegenwoordig komt het vaak voor dat men in schakelingen van hoogwaardige apparatuur (digitale universeel-meters, sinus-generatoren met lage vervorming, verzwakkers) gebruik moet maken van 1% weerstanden. Nu worden deze 1% weerstanden gefabriceerd volgens de E-96 reeks, hetgeen betekent dat in iedere decade (bijvoorbeeld de decade 1 k-Ohm tot 10 k-Ohm) niet minder dan 96 verschillende weerstands-waarden verkrijgbaar zijn. Gaat men uit van het gegeven dat men in schakelingen weerstanden tussen 10 Ohm en 10 M-Ohm kan aantreffen, dan zou men in totaal 6 x 96 = 576 verschillende 1% weerstanden in huis moeten hebben om op alle eventualiteiten voorbereid te zijn!
Zelfs de best gesorteerde postorderbedrijven zijn in de meeste gevallen niet in staat al deze weerstands-waarden uit voorraad te leveren. Bovendien kost het per postorder bestellen van enige 1% weerstanden gemiddeld 30 keer meer aan administratie, verzend- en rembourskosten dan de waarde van de onderdelen.

In de meeste gevallen zal de doe-het-zelver zich dan ook behelpen met het serie- of parallel-schakelen van twee weerstanden voor het samenstellen van een bepaalde precisie-weerstand. Uit de wetten van de statistiek kan men immers leren dat de gemiddelde fouten niet toenemen, maar zich in de meeste gevallen compenseren, zodat de fout op de serie- of parallel-schakeling zonder meer vergelijkbaar is met de tolerantie van de serie of parallel geschakelde weerstanden.

Nu is het berekenen van de waarde van de serie of parallel te schakelen weerstanden meestal een tamelijk ingewikkelde klus. Op de volgende pagina's vindt U deze berekeningen voor enige honderden weerstands-waarden, waarbij wordt uitgegaan van 1% weerstanden volgens de algemeen door hobbyisten gebruikte E-12 reeks en waarbij nooit meer dan twee weerstanden in serie of parallel worden geschakeld.

De 96 waarden van één decade uit de E-96 reeks

100	147	215	316	464	681
102	150	221	324	475	698
105	154	226	332	487	715
107	158	232	340	499	732
110	162	237	348	511	750
113	165	243	357	523	768
115	169	249	365	536	787
118	174	255	374	549	806
121	178	261	383	562	825
124	182	267	392	576	845
127	187	274	402	590	866
130	191	280	412	604	887
133	196	287	422	619	909
137	200	294	432	634	931
140	205	301	442	649	953
143	210	309	453	665	976

De 12 waarden van één decade uit de E-12 reeks

10	15	22	33	47	68
12	18	27	39	56	82

Overzichts-tabel van alle mogelijke serie- en parallel-schakelingen met de standaard E-12 weerstanden

10...11 kΩ	
9,9	18//22
10,0	10
	8,2+1,8
10,1	6,8+3,3
10,2	12//68
10,3	5,6+4,7
10,31	15//33
10,4	8,2+2,2
10,47	12//82
10,56	10+0,56
10,68	10+0,68
10,7	6,8+3,9
10,71	12//100
10,8	18//27
10,82	10+0,82
10,83	15//39
10,9	8,2+2,7
10,91	12//120

11...12 kΩ	
11,0	10+1
	22//22
11,11	12//150
11,2	5,6+5,6
	10+1,2
11,25	12//180
11,37	15//47
11,38	12//220
11,5	6,8+4,7
	8,2+3,3
	10+1,5
11,65	18//33
11,8	10+1,8
11,83	15//56

12...13 kΩ	
12,0	12
12,1	8,2+3,9
12,12	22//27
12,2	10+2,2
12,29	15//68
12,32	18//39
12,4	6,8+5,6
12,56	12+0,56
12,68	15//82
	12+0,68
12,7	10+2,7
12,82	12+0,82
12,9	8,2+4,7

13...14 kΩ	
13,0	12+1
13,02	18//47
13,04	15//100
13,2	12+1,2
13,3	10+3,3
13,33	15//120
13,5	12+1,5
13,6	6,8+6,8
13,62	18//56
13,64	15//150
13,8	8,2+5,6
	12+1,8
13,85	15//180
13,9	10+3,9

14...15 kΩ

14,04	15//200
14,07	22//39
14,2	12+2,2
14,21	15//270
14,23	18//68
14,44	15//390
14,7	10+4,7
	12+2,7
14,76	18//82
14,85	27//33
14,99	22//47

15...16 kΩ

15,0	15
	8,2+6,8
15,25	18//100
15,3	12+3,3
15,6	10+5,6
15,65	18//120
15,79	22//56
15,82	15+0,82
15,95	27//39

16...17 kΩ

16,0	15+1
16,07	18//150
16,2	15+1,2
16,36	18//180
16,4	8,2+8,2
16,5	15+1,5
16,62	22//68
16,64	18//220
16,7	12+4,7
16,8	10+6,8
16,88	18//270

17...18 kΩ

17,07	18//330
17,15	27//47
17,2	15+2,2
17,35	22//82
17,6	12+5,6
17,7	15+2,7
17,88	33//39

18...19 kΩ

18,0	18
18,03	22//100
18,2	10+8,2
18,22	27//56
18,3	15+3,3
18,59	22//120
18,8	12+6,8
18,9	15+3,9

19...20 kΩ

19,0	18+1
19,19	22//150
19,2	18+1,2
19,33	27//68
19,39	33//47
19,5	39//39
	18+1,5
19,6	22//180
19,7	15+4,7
19,8	18+1,8

20...30 kΩ

20,0	22//220
	10+10
20,2	12+8,2
	18+2,2
20,31	27//82
20,34	22//270
20,6	15+5,6
20,63	22//330
20,7	18+2,7
20,76	33//56
20,83	22//390
21,02	22//470
21,17	22//560
21,26	27//100
21,3	18+3,3
21,31	39//47
21,53	22//1000
21,6	22//1200
21,8	15+6,8
21,9	18+3,9
22,0	22
	12+10
22,04	27//120
22,22	33//68
22,47	22+0,47
22,7	18+4,7
22,88	27//150
22,99	39//56
23,0	22+1
23,2	15+8,2
	22+1,2
23,48	27//180
23,5	47//47
	22+1,5
23,53	33//82
23,6	18+5,6
23,8	22+1,8
24,0	12+12
24,05	27//220
24,2	22+2,2
24,55	27//270
24,7	22+2,7
24,79	39//68
24,8	18+6,8
24,81	33//100
24,96	27//330
25,0	15+10
25,25	27//390
25,3	22+3.3
25,53	27//470
25,55	47//56
25,88	33//120
25,9	22+3,9
26,2	18+8,2
26,43	39//82
26,7	22+4,7
27,0	27
	15+12
27,05	33//150
27,6	22+5,6
27,79	47//68
27,89	33//180

28,0	56//56
	18+10
28,06	39//100
28,2	27+1,2
28,5	27+1,5
28,7	33//220
28,8	22+6,8
	27+1,8
29,2	27+2,2
29,41	33//270
29,43	39//120
29,7	27+2,7
29,88	47//82

30...40 kΩ

30,0	33//330
30,2	22+8,2
30,3	27+3,3
30,43	33//390
30,71	56//68
30,83	33//470
30,9	27+3,9
30,95	39//150
31,16	33//560
31,47	33//680
31,7	27+4,7
31,97	47//100
32,0	22+10
32,05	39//180
32,6	27+5,6
33,00	33
	18+15
33,13	39//220
33,28	56//82
33,77	47//120
33,8	27+6,8
34,0	68//68
	22+12
34,08	39//270
34,5	33+1,5
34,8	33+1,8
34,88	39//330
35,2	27+8,2
	33+2,2
35,45	39//390
35,7	33+2,7
35,79	47//150
35,9	56//100
36,0	18+18
36,01	39//470
36,3	33+3,3
36,46	39//560
36,88	39//680
36,9	33+3,9
37,0	22+15
	27+10
37,17	68//82
37,27	47//180
37,7	33+4,7
38,18	56//120
38,6	33+5,6
38,73	47//220
39,0	39
	27+12
39,8	33+6,8

40...50 kΩ

40,0	22+18
40,03	47//270
40,48	68//100
40,78	56//150
41,0	82//82
41,14	47//330
41,2	38+8,2
	39+2,2
41,7	39+2,7
41,95	47//390
42,0	27+15
42,3	39+3,3
42,71	56//180
42,73	47//470
42,9	39+3,9
43,0	33+10
43,36	47//560
43,4	68//120
43,7	39+4,7
43,96	47//680
44,0	22+22
44,45	47//820
44,6	39+5,6
44,64	56//220
45,0	27+18
	33+12
45,05	82//100
45,8	39+6,8
46,38	56//270
46,79	68//150
47,0	47
47,2	39+8,2
47,88	56//330
48,0	33+15
	47+1
48,71	82//120
48,97	56//390
49,0	27+22
	39+10
49,35	68//180
49,7	47+2,7

50...60 kΩ

50,0	100//100
50,04	56//470
50,3	47+3,3
50,9	47+3,9
51,0	33+18
	39+12
51,7	47+4,7
51,74	56//680
51,94	68//220
52,42	56//820
52,6	47+5,6
53,02	83//150
53,03	56//1000
53,8	47+6,8
54,0	27+27
	39+15
54,32	68//270
54,55	100//120
55,0	33+22
55,2	47+8,2
56,0	56

56,34	82//180
56,38	68//330
57,0	39+18
	47+10
57,9	68//390
59,0	47+12
59,3	56+3,3
59,41	68//470
59,74	82//220
59,9	56+3,9

60...70 kΩ

60,0	100//150
	33+27
60,64	68//560
60,7	56+4,7
61,0	39+22
61,6	56+5,6
61,82	68//680
62,0	47+15
62,79	68//820
62,8	56+6,8
62,9	82//270
63,67	68//1000
64,2	56+8,2
64,29	100//180
64,35	68//1200
65,0	47+18
65,68	82//330
66,0	33+33
	39+27
	56+10
66,67	120//150
67,75	82//390
68,0	68
	56+12
68,75	100//220
69,0	47+22
69,82	82//470

70...80 kΩ

71,0	56+15
71,53	82//560
71,9	68+3,9
72,0	120//180
	39+33
72,7	68+4,7
72,97	100//270
73,18	82//680
73,6	68+5,6
74,0	47+27
	56+18
74,55	82//820
74,8	68+6,8
75,0	150//150
75,79	82//1000
76,2	68+8,2
76,74	100//330
76,76	82//1200
77,65	120//220
77,75	82//1500
78,0	39+39
	68+10
79,59	100//390

80...90 kΩ

80,0	47+33
	68+12
80,82	82//5600
81,82	150//180
82,0	82
82,46	100//470
83,0	56+27
	68+15
83,08	120//270
83,8	82+1,8
84,2	82+2,2
84,85	100//560
86,0	47+39
	68+18
86,7	82+4,7
87,18	100//680
87,6	82+5,6
88,0	120//330
88,8	62+6,8
89,0	56+33
89,13	100//820
89,19	150//220

90...100 kΩ

90,0	180//180
90,2	82+8,2
90,91	100//1000
91,76	120//390
92,0	82+10
92,31	100//1200
93,01	100// //(1000+330)
93,75	100//1500
94,0	47+47
	82+12
94,74	100//1800
95,0	56+39
	68+27
95,59	120//470
96,43	150//270
97,0	82+15
98,0	47+33+18
98,82	120//560
99,0	180//220
100,0	100
	82+18
101,0	68+33
102,0	120//680
103,0	56+47

6/18

Componenten-waarden volgens de IEC-standaard

Inleiding

Waarom kan men wel een weerstand van 270 kΩ kopen maar geen elektrolytische condensator van 270 μF? Een eenvoudig probleem waar echter een hele theorie aan ten grondslag ligt! Fabrikanten van elektronische onderdelen worden geconfronteerd met de vraag met welke waarden zij bepaalde onderdelen moeten fabriceren. Hoe minder verschillende waarden noodzakelijk zijn, hoe groter de productie-aantallen van de geselecteerde waarden en hoe minder vaak de productielijnen moet worden omgeschakeld.

In principe zou het zo moeten zijn dat er zoveel verschillende weerstanden worden geproduceerd dat iedere gewenste waarde beschikbaar is. Als een ontwerper van een nauwkeurige versterker een weerstand van 1,07 kΩ nodig heeft moet die waarde in principe ook leverbaar zijn!

Een eerste gegeven is dat met het totale aanbod aan componenten-waarden kan indelen in een aantal decaden, waarvan alleen waarden onderling een macht van 10 groter of kleiner zijn. Het probleem wordt dus beperkt tot het samenstellen van een decade-band, die bijvoorbeeld het gebied tussen 1,00 en 9,99 kΩ bestrijkt. Alle grotere of kleinere weerstandswaarden zijn numeriek identiek aan een weerstand uit de genoemde decade-band, maar worden met een macht van tien vermenigvuldigd of door een macht van 10 gedeeld.

Fabrikage-toleranties

Fabrikage-processen gaan steeds gepaard met bepaalde afwijkingen, de tolerantie van het proces. Als een productiestraat is ingesteld op de fabrikage van 1 kΩ weerstanden en men gaat alle weerstanden nauwkeurig nameten, dan zal blijken dat er onderling verschillen optreden.
Die verschillen noemt men de tolerantie van de weerstanden en deze tolerantie is, na de waarde, de tweede meest belangrijke parameter van het onderdeel. Fabrikanten zijn met de huidige technologische processen in principe in staat onderdelen in massa te produceren met redelijk kleine toleranties. Hoe kleiner de onderlinge afwijkingen zijn, hoe duurder echter de productie. Men moet zich dus steeds de vraag stellen hoe groot de tolerantie van een bepaald onderdeel in een bepaald ontwerp mag zijn. Het heeft geen zin een weerstand met een tolerantie van 1% in te zetten op een plaats waar een onderdeel met een afwijking van 10% net zo goed voldoet.

Vandaar dat men internationaal een aantal nauwkeurigheidsklassen heeft vastgesteld waar alle fabrikanten zich aan houden.
Elektronische onderdelen worden gepro-

duceerd met tolerantiegrenzen van 20, 10, 5, 2, 1 0,5 en 0,1%.
Deze procentuele afwijkingen gelden zowel naar onder als naar boven, zodat men dus in feite steeds over +/– percentages moet praten. Een weerstand van 100 kΩ met een tolerantie van 10% heeft een waarde die ergens ligt tussen de 90 en de 110 kΩ.

Het verband tussen tolerantie en waarden-reeks

Als een weerstand van 100 kΩ +/– 10% een praktische waarde kan hebben die ergens ligt tussen de 90 en de 110 kΩ, dan heeft het weinig zin in dezelfde 10% reeks een weerstand van 95 kΩ op de markt te brengen! Door de tolerantie-spreidingen op de individuele componenten van 95 en 100 kΩ kan het voorkomen dat een weerstand van 95 kΩ in feite als 100 kΩ gecodeerd zou moeten worden.

Men moet een decade-band zo samenstellen dat de tolerantiegebieden van de individuele waarden elkaar net overlappen. In figuur 6/18-1 zijn als voorbeeld weerstanden 100, 120, 150, 180 en 220 kΩ met een tolerantie van +/–10% ingetekend op een weerstandsschaal, waarbij de tolerantie-banden van iedere weerstand gearceerd zijn. Duidelijk blijkt dat aan de gestelde eis voldaan is en dat de gestandaardiseerde waarden 100, 120, 150, 180 en 220 niet zomaar willekeurig zijn vastgesteld!

De gestandaardiseerde reeksen

Iedere gestandaardiseerde tolerantieklasse vereist bijgevolg een specifieke samenstelling van de decade-band om aan de overlappingseis te voldoen.
Men kan berekenen dat aan de voorwaarde voldaan wordt als er tussen tolerantieklasse en aantal onderdelen-waarden in een decade onderstaand verband bestaat:

- 20% tolerantie → 6 verschillende waarden per decade;
- 10% tolerantie → 12 verschillende waarden per decade;
- 5% tolerantie → 24 verschillende waarden per decade;
- 2% tolerantie → 48 verschillende waarden per decade;
- 1% tolerantie → 96 verschillende waarden per decade;
- 0,5% tolerantie → 192 verschillende waarden per decade.

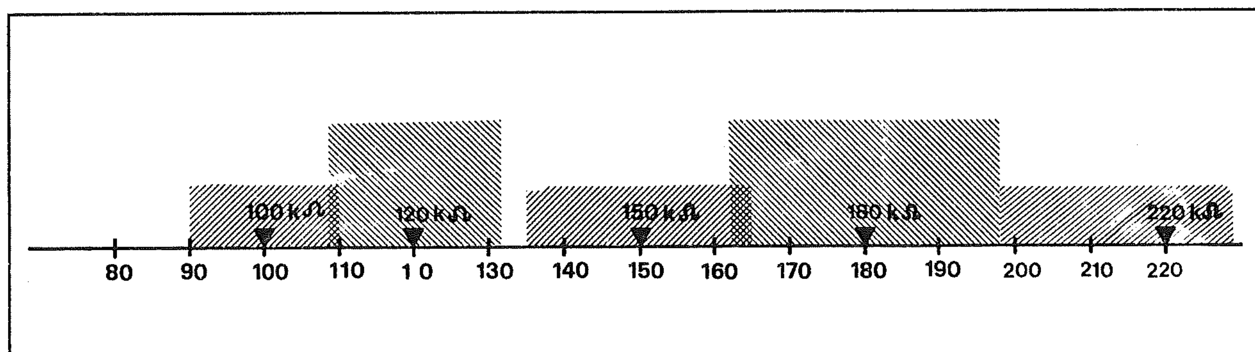
De 0,1% klasse wordt alleen bij zeer speciale onderdelen toegepast, bijvoorbeeld bij weerstanden waarmee de spanningsdelers in nauwkeurige 4,5 decade universele digitale meters worden samengesteld. Er bestaat geen decade-indeling voor deze klasse.

Er zijn dus zes verschillende decadereeksen voor de waarde van elektronische onderdelen in de handel, die respectievelijk de E-6, E-12, E-24, E-48, E-96 en E-192 reeks worden genoemd.

De indeling van deze reeksen kan wiskundig worden berekend met de formule:

$$F = \sqrt[x]{10}$$

waarbij x staat voor de reeks en F de vermenigvuldigingsfactor is die het verband geeft tussen twee opeenvolgende waarden uit een reeks.



Figuur 6/18-1: De tolerantie-banden van de opeenvolgende onderdelenwaarden uit een reeks moeten elkaar overlappen.

Voor de E-12 reeks is F = 1,211528 en de samenhang tussen de elementen van de wiskundige reeks een gegeven in tabel 6/18-1.
Na afronding ontstaat de bekende E-12 reeks:
10-12-15-18-22-27-32-39-47-56-68-82.

Over de gehanteerde afrondingen valt te twisten en om voor eens en voor altijd de waarden uit de zes reeksen vast te leggen heeft de IEC, de International Electrotechnical Commission, een standaard opgesteld. Deze is volledig uitgewerkt in de tabel op de volgende pagina's.

Codering

De waarden van onderdelen worden, als de afmetingen van het onderdeel het toelaten, nog steeds onder de vorm van een cijferreeks aangegeven. Bij kleinere onderdelen worden gekleurde banden gebruikt voor zowel de basis-waarde, de decade-factor als de tolerantie. Hoewel deze kleurencode wel algemeen bekend zal zijn, wordt deze voor de volledigheid opgenomen als tabel 6/18-2.

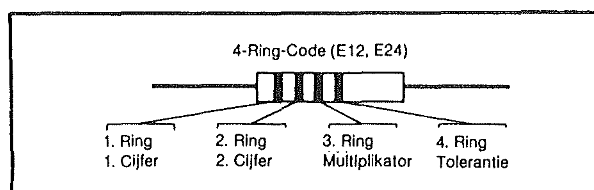
Voor componenten met een tolerantie van 20, 10 en 5% bestaan de waarden uit slechts twee beduidende cijfers. Er volstaan dan vier gekleurde ringen, die volgens figuur 6/18-2 de twee beduidende cijfers, de vermenigvuldigingsfactor en de tolerantie definiëren.
Componenten met een kleinere tolerantie hebben waarden die door drie beduidende cijfers bepaald worden. Er zijn dan vijf ringen nodig, zie figuur 6/18-3, drie voor de beduidende cijfers, een voor het decade-bereik en een voor de tolerantie. Omdat de temperatuurs-coëfficiënt bij deze nauwkeurige onderdelen een rol kan gaan spelen wordt soms nog een zesde ring opgenomen, die de temperatuurs-coëfficiënt van het onderdeel definieert.

Besluit

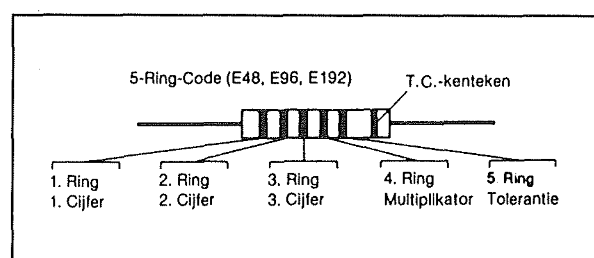
Het antwoord op de vraag waarmee dit hoofdstuk geopend werd zal nu wel duidelijk zijn. Omdat men elektrolytische condensatoren tot nu toe slechts met een tolerantie van 20% kan fabriceren worden deze onderdelen alleen volgens de E-6 reeks op de markt gebracht.

STAP	WAARDE	AFGEROND
1	12.11528	12
2	14.678	15
3	17.78281	18
4	21.54437	22
5	26.1016	27
6	31.62282	32
7	38.31193	39
8	46.41598	47
9	56.23426	56
10	68.12937	68
11	82.54063	82
12	100.0003	100

Tabel 6/18-1: De berekende en afgeronde praktische waarden uit een decade van de E-12 reeks.



Figuur 6/18-2: De kleurcodering van onderdelen uit de E-6., E-12 en E-24 reeksen.



Figuur 6/18-3: De kleurcodering van onderdelen uit de E-48, E-96 en E-192 reeksen.

kleur	cijfer	vermenigvuldigingsfactor		tolerantie
zilver	–	0,01	Ω	10%
goud	–	0,1	Ω	5%
zwart	0	1	Ω	–
bruin	1	10	Ω	1%
rood	2	100	Ω	2%
oranje	3	1	kΩ	–
geel	4	10	kΩ	–
groen	5	100	kΩ	0,5%
blauw	6	1	MΩ	0,1%
violet	7	10	MΩ	0,1%
grijs	8	100	MΩ	–
wit	9	–	MΩ	–

Tabel 6/18-2: De internationale kleurcode voor onderdelen.

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
100	100	100	100	100	100
					101
				102	102
					104
			105	105	105
					106
				107	107
					109
		110	110	110	110
					111
				113	113
					114
			115	115	115
					117
				118	118
	120	120			120
			121	121	121
					123
				124	124
					126
			127	127	127

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
					129
		130		130	130
					132
			133	133	133
					135
				137	137
					138
			140	140	140
					142
				143	143
					145
			147	147	147
					149
150	150	150		150	150
					152
			154	154	154
					156
				158	158
		160			160
			162	162	162
					164

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
				165	165
					167
			169	169	169
					172
				174	174
					176
			178	178	178
	180	180			180
				182	182
					184
			187	187	187
					189
				191	191
					193
			196	196	196
					198
		200		200	200
					203
			205	205	205
					208
				210	210

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
					213
			215	215	215
					218
220	220	220			
				221	221
					223
			226	226	226
					229
				232	232
					234
			237	237	237
		240			240
				243	243
					246
			249	249	249
					252
				255	255
					258
			261	261	261
					264
				267	267

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
	270	270			
					271
			274	274	274
					277
				280	280
					284
			287	287	287
					291
				294	294
					298
		300			
			301	301	301
					305
				309	309
					312
			316	316	316
					320
				324	324
					328
330	330	330			
			332	332	332

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
					336
				340	340
					344
			348	348	348
					352
				357	357
		360			
					361
			365	365	365
					370
				374	374
					379
			383	383	383
					388
	390	390			
				392	392
					397
			402	402	402
					407
				412	412
					417

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
			422	422	422
					427
		430			
				432	432
					437
			442	442	442
					448
				453	453
					459
			464	464	464
470	470	470			470
				475	475
					481
			487	487	487
					493
				499	499
					505
			510		
			511	511	511
					517
				523	523

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
					530
			536	536	536
					542
				549	549
					556
	560	560			
			562	562	562
					569
				576	576
					583
			590	590	590
					597
				604	604
					612
			619	619	619
		620			
					626
				634	634
					642
			649	649	649
					657

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
				665	665
					673
680	680	680			
			681	681	681
					690
				698	698
					706
			715	715	715
					723
				732	732
					741
		750	750	750	750
					759
				768	768
					777
			787	787	787
					796
				806	806
					816
	820	820			
			825	825	825

E-6	E-12	E-24	E-48	E-96	E-192
					835
				845	845
					856
			866	866	866
					876
				887	887
					898
			909	909	909
		910			
					920
				931	931
					942
			953	953	953
					965
				976	976
					988